

# RISIKOORIENTIERTE ERNEUERUNGSPLANUNG

## ERFAHRUNGSBERICHT NACH FÜNF JAHREN ANWENDUNG IN DER WASSERVERSORGUNG ZÜRICH

2012 wurde die risikobasierte Erneuerungsplanung bei der Wasserversorgung Zürich (WVZ) eingeführt. Somit konnten unter anderem belastbare Aussagen zur Entwicklung des Rohrnetzstatus gemacht werden. Nach 5 Jahren wurde die zugrunde liegende Risikoanalyse aktualisiert. Dabei wurden die tatsächliche und prognostizierte Schadensentwicklung verglichen. Neue Erkenntnisse zum Alterungs- und Ausfallverhalten von Duktilegussleitungen, Restwertbetrachtungen von allfällig zu ersetzenden Rohrleitungen sowie die Auswirkungen koordinierter Baumassnahmen auf die Risikobeurteilung standen bei der umfassenden Überarbeitung besonders im Fokus der WVZ.

*Piet Hensel\*, RZVN Wehr GmbH; Harald Tarnowski; Adrian Rieder, Stadt Zürich Wasserversorgung*

### RÉSUMÉ

#### CINQ ANNÉES DE PLANIFICATION DU RENOUVELLEMENT AXÉE SUR LES RISQUES DANS LA DISTRIBUTION DE L'EAU DE ZÜRICH

La planification à moyen et long terme des travaux à effectuer sur les canalisations est un élément essentiel pour garantir la sécurité de la distribution. Conformément à l'approche classique d'analyse des risques, un outil de planification (modèle) a été développé en étroite collaboration avec le bureau d'ingénierie RZVN Wehr GmbH de Düsseldorf. Le Service des eaux de Zurich (WVZ) a adopté une planification de renouvellement axée sur les risques pour la première fois en 2012 pour l'ensemble de son réseau d'eau potable. Ce modèle a permis de se prononcer sur l'évolution à moyen et long terme de l'état du réseau de canalisations et des risques encourus ainsi que sur les budgets à prévoir. Il a permis également d'établir un ordre de priorité des travaux à planifier dans le temps de sorte que le Service des eaux de Zurich a pu faire adopter avec l'insistance nécessaire des travaux importants sur les canalisations dans le cadre de la planification urbaine coordonnée. En 2017, une actualisation générale de l'analyse des risques a eu lieu en exploitant de nouvelles informations introduites dans le SIG et une documentation améliorée sur les dommages. Le renouvellement continue de se concentrer sur les facteurs de risque actuels (conduites en fonte grise de gros diamètre). En fonction de l'évolution des dommages, il est également proposé de plus en

### AUSGANGSSITUATION

Die risikobasierte Erneuerungsplanung hat sich seit einigen Jahren als Stand der Technik bei der Bestimmung des Investitionsbedarfs und der Beurteilung der Erneuerungsnotwendigkeit von Leitungsnetzen etabliert. Die Wasserversorgung Zürich (WVZ) hat im Jahr 2012 gemeinsam mit dem Ingenieurbüro RZVN erstmals für das gesamte Trinkwassernetz alle Zustands- und Schadensdaten erhoben und eine flächendeckende Risikoanalyse durchgeführt, welche eine Grundlage für die mittel- und langfristige Erneuerungsplanung ist.

Der Begriff des Risikos beschreibt hierbei den Erwartungswert eines Schadens, definiert als das Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Rohrschadens und dem erwarteten Schadensausmass. Eine Normierung des Schadensausmasses auf einen monetären Wert hat sich dabei als zweckmässig erwiesen, um unterschiedliche Teilrisiken wie Reparaturkosten, Beschädigungen bei Dritten sowie Versorgungsunterbrechungen einheitlich bewerten zu können.

Neben dieser Risikobeurteilung muss die Erneuerungsplanung in der Praxis eine Vielzahl weiterer Randbedingungen berücksichtigen. Hierbei steht insbesondere die Koordination der Baustellen mit anderen städtischen Dienstabteilungen und anderen

\* Kontakt: [hensel@rzvn.de](mailto:hensel@rzvn.de)

Infrastrukturbetreibern im Vordergrund, um einerseits Synergien durch gemeinsame Tiefbauaktivitäten zu nutzen und andererseits die Anzahl und Dauer der Baustellen und der damit einhergehenden Beeinträchtigungen zu minimieren. In diesem Zusammenhang stehen die Netzbetreiber häufig vor der Entscheidung, ob sie bei koordinierten Baumassnahmen mitmachen sollen oder nicht. Beteiligen sie sich, bedeutet dies meist, dass Rohrleitungen frühzeitig erneuert werden, obwohl sie noch eine technische Restnutzungsdauer aufweisen. Die WVZ versucht hierbei – unterstützt durch entsprechende Planungswerkzeuge der RZVN Wehr GmbH – einen möglichst ausgewogenen Kompromiss zwischen einer umfassenden Nutzung der Synergien durch gemeinsame Baustellen und der Vermeidung einer Kapitalvernichtung durch eine zu frühe Erneuerung zu erreichen. Die Auswirkungen und Effizienz dieser Strategie des koordinierten Bauens wurden für den Zeitraum 2012–2016 im Rückblick untersucht.

Im Folgenden wird zunächst die Methodik der Schadensprognose und Risikobeurteilung der Leitungen und darauf aufbauend die wichtigsten Entwicklungen bei der Beurteilung des Alterungsverhaltens der unterschiedlichen Rohrwerkstoffe vorgestellt. Anschliessend wird ein Überblick über die Ergebnisse der risikoorientierten Erneuerungsstrategie der WVZ gegeben. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Abgleich der risikobasiert geplanten und tatsächlich realisierten Massnahmen sowie der Auswirkungen eines (aus Sicht der risikobasierten Erneuerungsplanung) zu frühen Leitungersatzes im Zuge koordinierter Baustellen.

## METHODIK RISIKOANALYSE

Zur Berechnung des Risikos, das von einer Leitung ausgeht, müssen sowohl die Wahrscheinlichkeit eines Leitungsschadens als auch das Schadensausmass bestimmt werden.

### ALTERUNGSVERHALTEN NACH WERKSTOFF

Auf der Grundlage einer statistischen Analyse der dokumentierten Leitungsschäden wird das Alterungsverhalten der jeweiligen Werkstoffgruppen durch passende mathematische Funktionen nachgebildet. Wichtig ist hierfür eine möglichst lückenlose Dokumentation der Schadensereignisse über einen Zeit-

Bezeichnung	Material	Verlegezeitraum	Nennweitenbereich (DN / da)
GGL (klein)	Grauguss laminar	1870–1966	≤ 300
GGL (gross)	Grauguss laminar	1870–1966	> 300
GGG (klein) 1. Gen.	Duktilguss	1966–1980	≤ 300
GGG (klein) 2. Gen.	Duktilguss	1981–1992	≤ 300
GGG (klein) 3. Gen.	Duktilguss	Seit 1992	≤ 300
GGG (gross) 1. Gen.	Duktilguss	1966–1980	> 300
GGG (gross) 2. + 3. Gen.	Duktilguss	Seit 1981	> 300
Stahl Transport	Stahl	Bis heute	> 300
PE	Polyethylen	Seit 1980	≤ 225
Sonstige/Unbekannt	Unbekannt	Bis heute	–

Tab. 1 Werkstoffgruppen resp. Leitungsgruppen für die Schadens- und Risikobeurteilung (Auszug)

Groupes de matériaux ou groupes de conduites pour l'évaluation des dommages et des risques (extrait)

raum von mehreren Jahren mit folgenden Angaben:

- Schadensursache
- Jahr des Schadenseintritts
- Ort des Schadens
- Verlegungsjahr der schadhaften Leitung
- Material der schadhaften Leitung
- Nennweite der schadhaften Leitung

Anhand dieser Angaben können die Schäden zunächst in sinnvolle Werkstoffgruppen (Tab. 1) eingeteilt und getrennt ausgewertet werden. Dabei wird das aufgetretene Alterungsverhalten mit dem

Kaplan-Meier-Verfahren nachgebildet und anschliessend über Weibull-Funktionen (Exponentialfunktionen) angenähert. Im Kapitel «Ergebnisse», Figur 4, wird beispielhaft die empirische Kaplan-Meier-Treppenkurve und die angenäherte Weibull-Funktion für den Werkstoff Duktilguss 1. Generation gezeigt.

### LOKALE EINFLÜSSE

Die Schadenswahrscheinlichkeit einer einzelnen Leitung kann zusätzlich durch lokale Faktoren, wie Streuströme oder eine erhöhte Verkehrsbelastung, beein-



Fig. 1 Einfärbung der Gebäude nach Wichtigkeit und Darstellung des Gefährdungsradius einer Leitung DN 800 Grauguss. In diesem Fall sind die Einfamilienhäuser einer denkmalgeschützten Siedlung (Bernoulli-Siedlung) speziell betroffen.

Coloration des bâtiments en fonction de l'importance et de la représentation du rayon d'incidence des risques liés à une conduite DN 800 en fonte grise. Les maisons individuelles d'un lotissement classé comme site du patrimoine sont particulièrement touchées.

flusst werden. In Zürich wurden darüber hinaus Duktigussleitungen der 1. und 2. Generation üblicherweise auf Holzkeilen verlegt, was zu einer spürbaren lokalen Häufung von Korrosionsschäden (lokale Makroelemente) führt. Diese lokalen Einflüsse werden durch eine GIS-basierte Zuordnung für jeden Leitungsabschnitt differenziert in der Schadensprognose berücksichtigt.

### ABSCHÄTZUNG DES SCHADENSAUSMASSES

Zur Abschätzung des Ausmasses eines Rohrschadens wird in der Software RIKA ein Normschaden simuliert, der abhängig ist vom Werkstoff und dessen Bruchverhalten sowie vom Leitungsdurchmesser und vom Druck. Aus diesen Parametern wird mit einem Schadensmodell und hydraulischer Rohrnetzrechnung ermittelt, welcher unkontrollierte Wasseraustritt ( $m^3/h$ ) zu erwarten ist und welche Netzbereiche im Schadensfall nicht mehr ausreichend versorgt werden können. Aus der Wasseraustrittsmenge wird über empirische Gefährdungsradien unter Berücksichtigung der Geländetopografie (Hanglagen) und dem hinterlegten Gebäudekataster zudem bestimmt, welche Gebäude im Falle eines Rohrbruchs durch austretendes Wasser betroffen sein könnten. Dabei wird unterschieden, ob es sich um besonders sensible Gebäude,

wie Spitäler und Altersheime, historische oder öffentliche Gebäude oder Verkehrsinfrastrukturen, handelt oder um besonders gefährdete Objekte wie Tiefgaragen, Unterführungen usw. *Figur 1* zeigt einen besonders risikobehafteten Leitungsabschnitt im Leitungsnetz der WVZ.

In das Schadensausmass fliessen ein: Reparaturkosten, Kosten für die Beschädigung bei Dritten sowie nicht direkt ausgewiesene monetäre Kosten für die Versorgungsunterbrechung und weitere Schadensfolgen, wie Verkehrsunterbrüche beim öffentlichen und Individualverkehr.

### RISIKOMATRIX

Jeder Leitungsabschnitt kann nun in einer Matrix hinsichtlich Schadensausmass sowie der Schadenswahrscheinlichkeit und damit auch hinsichtlich des Risikos beurteilt werden (*Fig. 2*). Die Leitungen mit dem höchsten Risiko sollten demnach zuerst ersetzt werden. Die Einteilung der unten dargestellten Risikomatrix wird zusammen mit dem Auftraggeber definiert. Empfohlen wird gemäss Modell der Ersatz der Leitungen im rot markierten Bereich der Matrix. Jeder Kreis ist identifiziert und stellt einen definierten Leitungsabschnitt dar, wobei die Grösse des Kreises proportional zu der im Schadensfall austretenden Wassermenge ist.

## ERGEBNISSE

### ALTERUNGSVERHALTEN

Die erste Untersuchung 2012 ergab, dass Graugussleitungen (<DN 300) das schlechteste Alterungsverhalten aufweisen, gefolgt von Duktigussleitungen (<DN 300) der 1. Generation (1966–1980). Da es bei Graugussleitungen aufgrund ihres Bruchverhaltens in der Regel zu grösseren Schäden kommt, fokussierte die risikobasierte Erneuerungsplanung vorwiegend auf mittlere und grosskalibrige Graugussleitungen entlang von dicht bebauten Strassen.

Im Rahmen der Überarbeitung von 2017 zeichnete sich für die Schadensbeurteilung jedoch ein anderes Bild ab (*Fig. 3*). Das liegt einerseits an der zunehmenden Alterung der Duktigussleitungen und andererseits an der Schadensstatistik, die innerhalb der fünf Jahre aktualisiert und mit weiteren Details angereichert wurde. Es zeigte sich, dass die Duktigussleitungen der 1. Generation nun alterungsbereinigt ein signifikant schlechteres Schadensverhalten aufweisen als die im Rohrnetz verbliebenen, «alten» Graugussleitungen. Letztere stehen zwar aufgrund des höheren Durchschnittsalters sowie des kritischeren Schadensbildes und -potenzials weiterhin im Fokus der Erneuerung. Das Modell der Risikoanalyse empfiehlt jedoch nun vermehrt den Ersatz der teilweise erst 40 bis 50 Jahre alten Duktigussleitungen der 1. Generation.

Diese Verschlechterung des beobachteten Schadensverhaltens von Duktigussleitungen geht auch aus *Figur 4* hervor: Die auf Basis der aktuellen Schadensstatistik ermittelte Funktion (rote Kurve) verläuft deutlich steiler als die 2012 ermittelte Funktion (grüne Kurve).

Das Verhalten der übrigen Werkstoffe blieb zwischen 2012 und 2017 hingegen weitgehend stabil. Die Analysen 2017 bestätigten die im Jahr 2012 berechneten Funktionen. Es wurden allerdings erste Hinweise darauf gefunden, dass sich das Schadensverhalten der Duktigussleitungen der 2. Generation (1981–1992) ebenfalls verschlechtert.

Die Resultate zeigen, dass eine kontinuierliche und möglichst vollständige Erfassung der Schadensdaten für eine gezielte und effiziente Erneuerungsstrategie zwingend notwendig ist. Der Lohn für diese Arbeit besteht in einer belastbaren Schadensprognose, wodurch gezielt

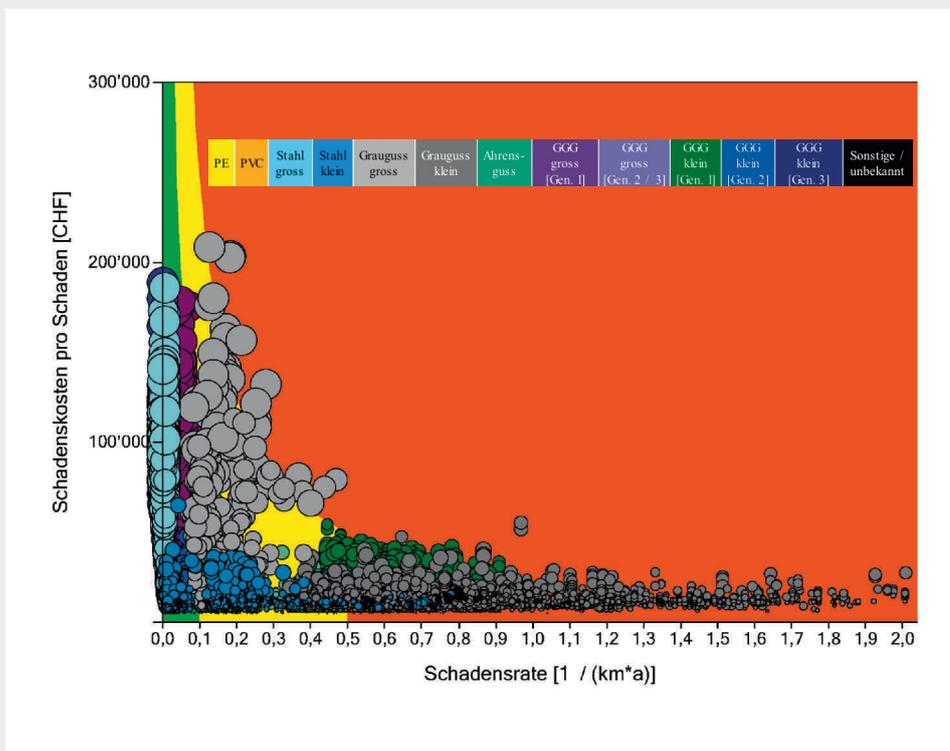


Fig. 2 Verteilung der Schadenskosten und Schadensrate im Jahr 2017

Répartition des coûts des dommages et du taux de dommages en 2017

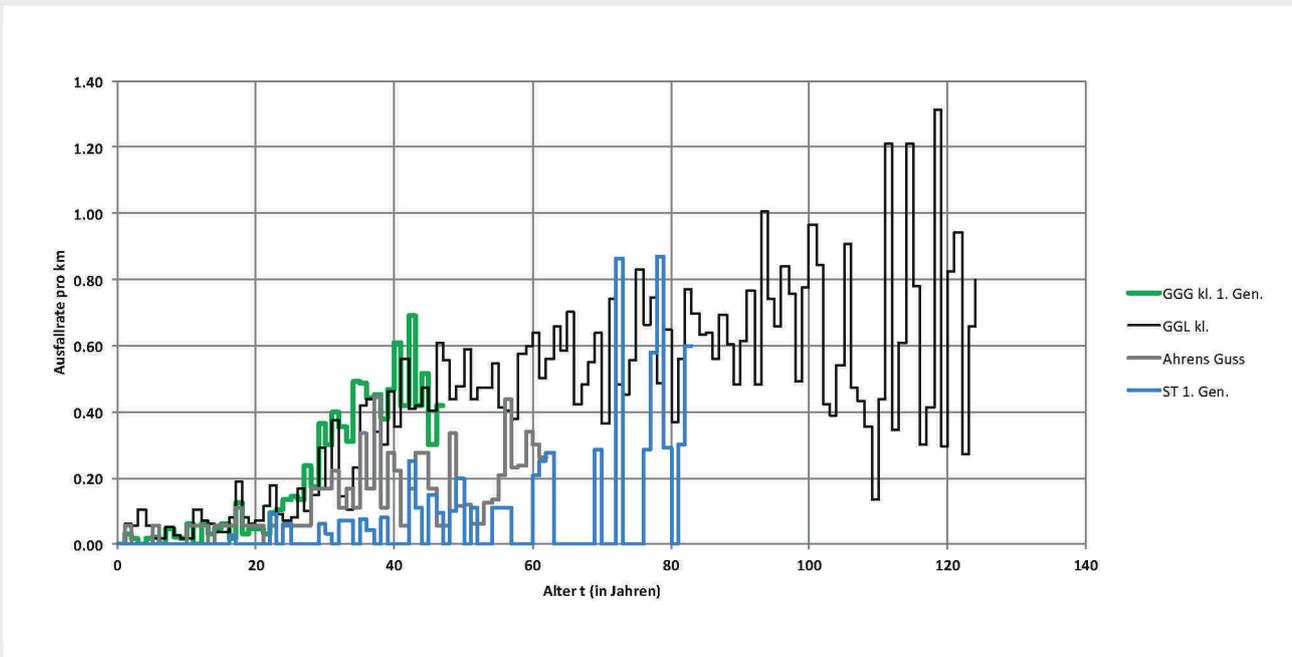


Fig. 3 Vergleich der zeitlichen Entwicklung der Schadensraten der Werkstoffe GGL und GGG (kleine Nennweiten)  
 Comparaison de l'évolution dans le temps des taux de dommages des matériaux fonte GL et FD (petits diamètres nominaux)

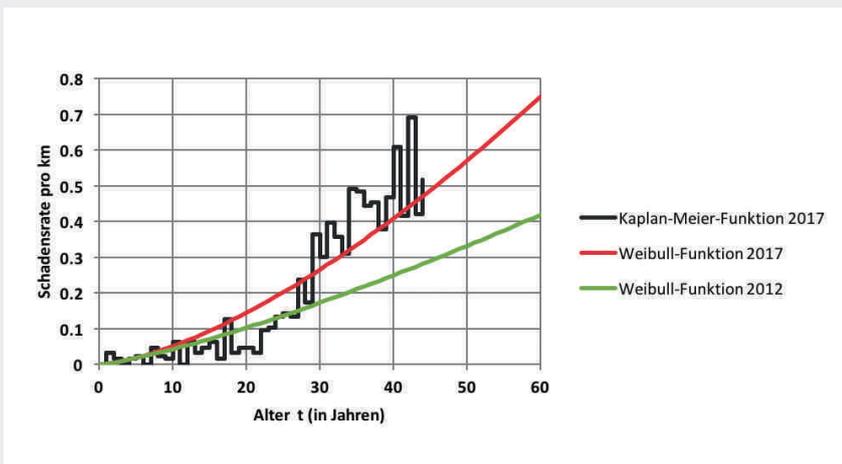


Fig. 4 Aktuelle Schadensraten GGG (kleine Nennweiten, ≤ DN 300), dargestellt als Treppenkurve (schwarz) mit roter Näherungsfunktion und verglichen mit der Näherungsfunktion aus der Untersuchung im Jahre 2012 (grüne Linie). Der Vergleich zeigt, dass der Anstieg dieser spezifischen Leitungsgruppe signifikant steiler ist als 2012 ermittelt. Mit der verbesserten Datengrundlage der Berechnungen 2017 lässt sich der Unterschied erklären.

Taux de dommages actuels FD (petits diamètres nominaux, ≤ DN 300), représentés par une courbe en escalier avec une fonction d'ajustement noire et comparé à la fonction d'ajustement de l'analyse de 2012 (ligne bleue en pointillé). La comparaison montre que l'augmentation de ce groupe de conduites spécifique est nettement plus forte qu'en 2012. L'amélioration de la base de données utilisée pour les calculs en 2017 explique cette différence.

die Leitungen erneuert werden können, die in den nächsten Jahren voraussichtlich besonders schadensanfällig sind. Das häufig vorhandene «Bauchgefühl» hinsichtlich der Werkstoffe mit einem schlechten Alterungsverhalten kann hierdurch quantifiziert und objektiviert werden. Erkenntnisse aus der Überarbeitung

der Risikoanalyse haben die WVZ dazu veranlasst, die Erfassung der Schäden völlig neu aufzubauen und die Schäden in einem Tool im WebGIS zu erfassen. Für die WVZ bedeuten diese aktualisierten Aussagen, dass ein Teil des Budgets verstärkt in den Austausch von Duktileitungen der 1. Generation fließt.

Figur 5 zeigt für einen Ausschnitt exemplarisch, welche Leitungen kurz-, mittel- und langfristig zu erneuern sind.

**KOORDINIERTER BAUSTELLEN**

Die umfangreichen baulichen Aktivitäten führen in Zürich wie auch in anderen Grossstädten dazu, dass ein grosser Teil des Erneuerungsbudgets für die Ausführung koordinierter Baumaassnahmen benötigt wird und nur bedingt risikobasiert und nicht immer nach den idealen, werkspezifischen Bedürfnissen der Trinkwasserversorgung eingesetzt werden kann. In der Rückschau für den Zeitraum der Jahre 2012 bis 2016 zeigte sich beispielsweise, dass nur etwa die Hälfte der ursprünglich risikoorientiert geplanten Erneuerungsmassnahmen tatsächlich umgesetzt werden konnte. Aufgrund von zwingend durchzuführenden, koordinierten Baumaassnahmen mit anderen Infrastrukturbetreibern konnten mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen nicht alle geplanten Baumaassnahmen initiiert und ausgeführt werden.

Die Analyse für die WVZ lässt erkennen, dass die koordinierte Bauausführung zunächst zu einem ineffizienteren Mitteleinsatz führt, da häufig Rohrleitungen erneuert werden müssen, die nicht schadensanfällig, teilweise jünger als 50 Jahre sind und aus dem Blickwinkel der Risikobetrachtung noch länger genutzt werden könnten. Gleichzeitig sinken jedoch die spezifischen Leitungsbaukosten,

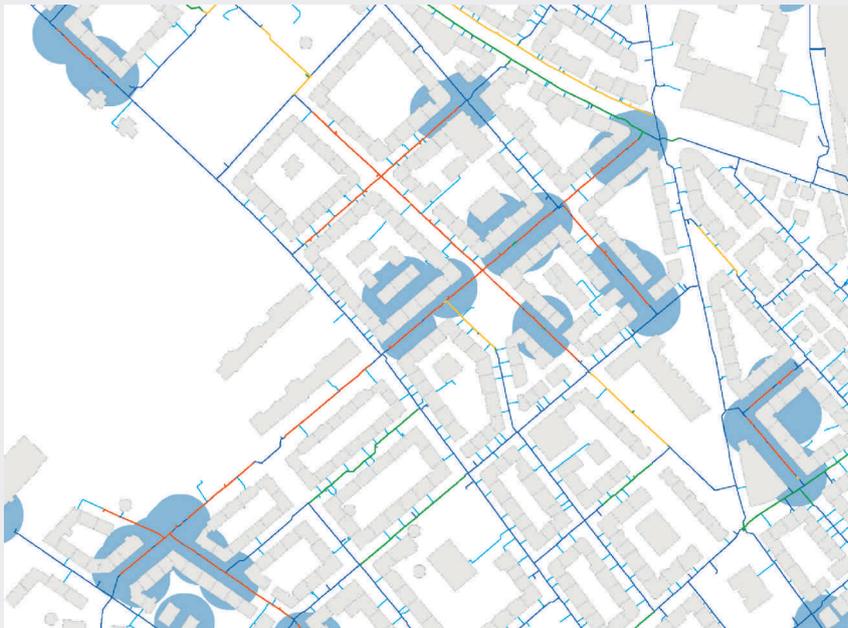


Fig. 5 Mit der Software RIKA generierter Baumaßnahmenplan (Ausschnitt) der kurz-, mittel- und langfristig zu erneuernden Leitungsabschnitte in den Farben Rot, Gelb, Grün und Darstellung von Bereichen mit einer lokalen Häufung von Schäden (Schadenscluster, blaugraue Flächen)

Plan des travaux généré à l'aide du logiciel RIKA (extrait) pour les tronçons de conduites à renouveler à court, moyen et long terme (indiqués en rouge, jaune, vert) et représentation des secteurs présentant localement une accumulation de dommages (grappes de dommages, superficies bleu-gris)

da ein Grossteil der Kosten für Tiefbau und Wiederherstellung der Strassenoberflächen auf mehrere Akteure verteilt werden kann. Im Durchschnitt über alle Massnahmen berechnet betragen diese Einsparungen bei den koordinierten Baumaßnahmen ca. 20% der Gesamtkosten. Je nachdem, ob die Nachteile der frühzeitigen Erneuerung oder die Vorteile aus den Kosteneinsparungen überwiegen, ergeben sich aus der koordinierten Bauausführung in der Summe positive oder negative Auswirkungen auf die Risikoentwicklung. Um zu ermitteln, ob die WVZ eher von koordinierten Baustellen profitiert oder signifikante Nachteile erfährt, wurden zwei Vergleichsszenarien simuliert. Im ersten Szenario wurde eine rein risikoorientierte Erneuerung ohne koordinierte Baustellen angenommen. Im Vergleichsszenario wurden hingegen die für die nächsten Jahre geplanten koordinierten Baumaßnahmen hinterlegt. Für diese wurden die Verlegungskosten um 20% reduziert, sodass bei gleichem Budget mehr Massnahmen umgesetzt werden können. Anschliessend wurden für beide Szenarien der Leitungersatz sowie die Netzalterung simuliert und die Risiko- und Schadensentwicklung für den Zeitraum 2017 bis 2022 prognostiziert.

In dem betrachteten Zeitraum sind die Unterschiede in der Risiko- und Schadensentwicklung zwischen beiden Szenarien gering. Die grünen Kurven in *Figur 6* zeigen die Risikoentwicklung bei Umsetzung der koordinierten Baumaßnahmen relativ zur Schadens- und Risikoentwicklung bei einer ausschliesslich risikobasierten Erneuerungsplanung (= 100%).

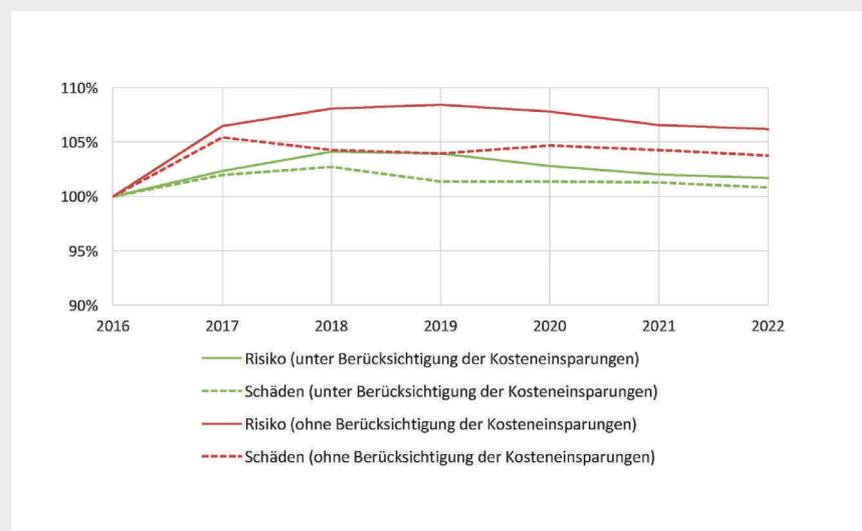


Fig. 6 Prognose der Schadens- und Risikoentwicklung bei koordinierter Durchführung von Baumaßnahmen im Vergleich zur rein risikobasierten Erneuerung (= 100%)

Prévision de l'évolution des dommages et des risques dans le cas d'une réalisation coordonnée des travaux comparé à un renouvellement purement basé sur les risques (= 100%)

Kurzfristig (2018) liegt das Risiko durch die koordinierte Bauausführung um etwa 4% höher als bei der rein risikobasierten Massnahmenplanung, da das Budget für weniger risikobehaftete Leitungen eingesetzt werden muss. Die Differenz in dem prognostizierten Risiko verschwindet allerdings bis 2022 fast vollständig. Es ist also langfristig kein relevanter negativer Effekt zu erwarten.

Um den Effekt des ineffizienten Mitteleinsatzes zu quantifizieren und vom Effekt der Kosteneinsparungen zu isolieren, wurde ein zusätzliches Szenario berechnet. In diesem Szenario wurden die koordinierten Baumaßnahmen berücksichtigt, jedoch keine Kostenreduktion angenommen, sodass nur die Nachteile durch einen ineffizienteren Einsatz des Budgets entstehen und nicht von den Synergien profitiert werden kann. Im Vergleich zu der rein risikobasierten Erneuerung zeigt sich nun ein Anstieg des Risikos um bis zu 9% und der Schadensrate um bis zu 5% (rote Kurven in *Fig. 6*). Aus der Differenz zwischen den roten und den grünen Kurven lässt sich der positive Effekt einer höheren Erneuerungsrate durch die Kostensynergien ablesen.

Generell kann somit für die WVZ festgestellt werden, dass die koordinierte Bauausführung trotz der Einschränkungen bei der Wahl der zu erneuernden Leitungen aufgrund der Kosteneinsparungen nur zu einem minimalen Anstieg der Risiko- und Schadensentwicklung im Vergleich zur rein risikobasierten Erneuerung führt. Fairerweise sollte

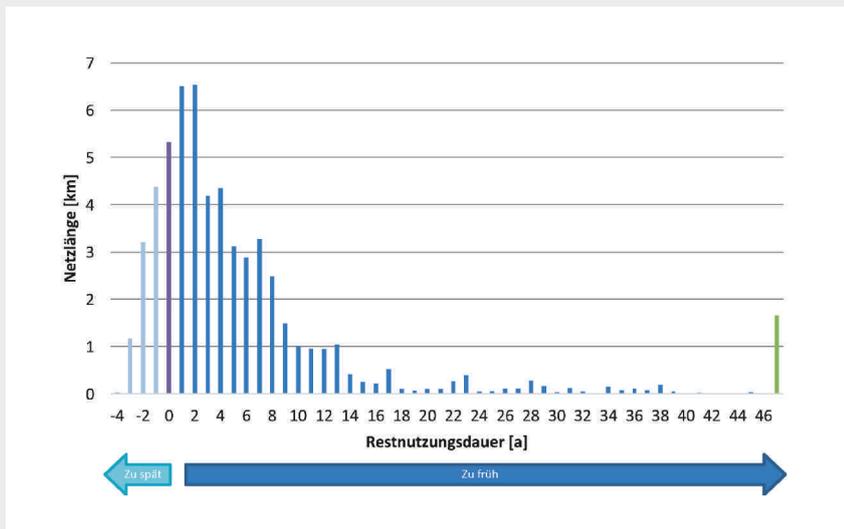


Fig. 7 Verteilung der technischen Restnutzungsdauer der im Zuge koordinierter Baustellen erneuerten Leitungsabschnitte (2012–2016)

Répartition de la durée d'utilisation technique résiduelle des tronçons de canalisations renouvelés dans le cadre de travaux coordonnés (2012–2016)

berücksichtigt werden, dass auch ohne koordinierte oder fremdveranlasste Erneuerungsmassnahmen in der Praxis der Leitungsersatz nie zu 100% risikoorientiert erfolgen kann (z. B. aus betrieblichen oder baurechtlichen Gründen). Die Differenz, die tatsächlich auf die koordinierten Massnahmen zurückzuführen ist, fällt demnach noch geringer aus. Dies spiegelt sich auch in *Figur 7* wider, welche die technische Restnutzungsdauer der Leitungen zum Zeitpunkt der koordinierten Erneuerung aufzeigt. Positive Werte geben dabei an, wie lange die Leitungen aus Risikosicht noch genutzt werden sollten, negative Werte bezeichnen Leitungen, die nach der Risikobeurteilung kurzfristig zu erneuern wären, aufgrund der Massnahmenkoordination jedoch erst in späteren Jahren erneuert werden. Insgesamt weist der Grossteil der Leitungen eine technische Restnutzungsdauer unterhalb von fünfzehn Jahren auf. Die mittlere technische Restnutzungsdauer beträgt zehn Jahre.

Die zunächst gering erscheinende technische Restnutzungsdauer bei koordinierter Massnahmenausführung liegt im Wesentlichen in einer gezielten Vorselektion der Massnahmen und im Expertenwissen der WVZ begründet. So wird die Erneuerung von Leitungen im Zuge koordinierter Baustellen generell auf die schadensan-

fälligen und risikobehafteten Werkstoffe Grauguss, Duktulguss 1. Generation sowie verbleibende kleine Stahlleitungen beschränkt. Aus diesem Grund besteht bereits eine relativ hohe Überschneidung zwischen koordinierter und risikobasierter Massnahmenauswahl und die Abweichungen der geplanten Erneuerungszeitpunkte beschränken sich auf den erwähnten Zeitraum von maximal 15 Jahren (mit Ausnahme weniger Ausreisser).

## FAZIT

Der von der WVZ im Jahr 2012 eingeschlagene Weg der risikoorientierten Erneuerungsplanung hat sich als objektive und effiziente Planungsgrundlage erwiesen. Auf der Basis von Schadensstatistiken und der Gefährdungsanalyse werden die besonders risikobehafteten Leitungen identifiziert. Die jeweiligen Ergebnisse des Planungstools sollen die Fachspezialisten der WVZ unterstützen und ermöglichen einen zielgerichteten und effizienten Einsatz des zur Verfügung stehenden Investitionsbudgets. Aufgrund der nun rund fünfjährigen Erfahrung können die Aussagen zur Zustandsentwicklung des Rohrnetzes überprüft und entsprechende Korrekturen bei der Bewertung vorgenommen werden. Die im Jahr 2012 identifizierten Risikotreiber (mittlere und

grosskalibrige Graugussleitungen) wurden weitgehend bestätigt. Neu geraten auch Duktulgussleitungen der 1. Generation (1966–1980) vermehrt in den Fokus. Durch den forcierten Austausch dieser Leitungen sollte sich die Gesamtzahl der Leitungsschäden zukünftig kontinuierlich verringern.

Die Resultate einer umfassenden Kosten-Nutzen-Analyse der koordinierten Baustellen gaben der bisherigen Vorgehensweise der WVZ recht, ältere, schadensanfällige Wasserleitungen im Zuge gemeinsamer Baumassnahmen zu erneuern. Die WVZ profitiert hierdurch im Mittel von 20% geringeren Kosten, ohne signifikante negative Auswirkungen auf die Risikoentwicklung befürchten zu müssen. Dennoch muss dem frühzeitigen Restwert- und Kapitalverlust genügend Beachtung geschenkt werden. Unter Umständen kann eine Einzelbaumassnahme zu einem späteren Zeitpunkt die bevorzugte Lösung sein. Zur Frage des Restwertverlustes sind bei der WVZ weiterführende, über einen längeren Zeitraum reichende Auswertungen vorgesehen.

## > SUITE DU RÉSUMÉ

plus souvent de renouveler des conduites en fonte ductile de première génération. Une analyse des avantages et inconvénients des travaux coordonnés a également été réalisée du point de vue du WVZ. Celle-ci a mis en regard l'inconvénient d'une durée d'utilisation technique réduite et l'avantage du coût limité des travaux réalisés sur les conduites. Les conclusions indiquent que les deux incidences s'annulent en majeure partie en ce qui concerne l'évolution des risques et que cela permet de profiter d'autres avantages de la coordination des travaux (détériorations plus limitées, etc.). Globalement, l'expérience des cinq dernières années confirme l'orientation de la planification du renouvellement axée sur les risques et soutient le processus de planification et de budgétisation du WVZ.